

## 明 細 書

## 半導体デバイスの電界分布測定方法と装置

## 技術分野

本発明は、半導体素子や半導体集積回路などの半導体デバイスの電界分布を非接触に測定する方法と装置に関する。詳しくは、半導体デバイスに電圧を印加した状態でレーザ光を照射し、放射される電磁波から電界分布を非接触に測定する方法と装置に関する。この電界分布測定方法と装置は、半導体デバイスの断線などの回路不良、ドーピング不良、積層膜間の短絡不良などの検査に応用することができる。

## 背景技術

半導体集積回路や半導体素子等の半導体デバイスの内部の電界分布を非破壊・非接触で測定する方法として、レーザを用いたテラヘルツ (THz) 電磁波イメージング法が知られている (紀和利彦、斗内政吉「後方散乱型テラヘルツ電磁波イメージングによる半導体 IC 断線評価」応用物理学会春季学術講演会予稿集、第3分冊、p 1183 (2003年3月29日))。これは半導体デバイスの回路に電圧を印加した後、回路表面にレーザ光を照射することで、THz 電磁波を発生させ、その発生した電磁波の振幅強度からレーザ光照射位置の電界強度を測定するものである。しかし、この従来の方法は、発生した電磁波の振幅強度のみを使用するため電界の方向の区別がつかず、得られる情報が少なく、半導体デバイスの検査や故障診断には不十分であった。また、測定の空間分解能が照射するレーザ光の回折限界で規定され、微細な半導体集積回路の電界分布を測定するには分解能的に問題があった。さらに、従来の方法は、回路全体の電界分布が測定できるだけで、例えば、信号経路のみといった特定領域の電界分布を測定することができなかった。

また、上記の従来技術に関連する技術として、超短光パルスを半導体スイッチに照射し、テラヘルツ電磁波を空中に放射させる技術 (図1) が知られている

(D. H. Auston and M. C. Nuss, "ELECTROOPTIC GENERATION AND DETECTION OF FEMTOSECOND ELECTRICAL TRANSIENTS", IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, Vol. 24, pp. 184-197, FEB. 1988.)。図1に於いて、半絶縁性GaAs基板上に光伝導膜として働く低温成長 (LT) GaAs薄膜を成長させ、さらにその上に5  $\mu$ m程度の間隔を設けたアンテナ構造を金合金で作製する。光パルスが照射された瞬間のみ電流が流れる光導電性薄膜としてLT-GaAsが一般的に用いられている。金合金部分は電極も兼ねており、直流電圧源に接続されている。中央の出っ張り部分は、微小ダイポールアンテナとして作用し、この間隙部分にパルスレーザ光を当てて励起すると、光吸収によりキャリアは価電子帯から伝導帯へ励起され、励起された光キャリアは印加電圧により加速された後、緩和していく。このキャリアの動きを瞬時電流と考えるとこの電流の時間微分に比例したパルス電磁波が発生する。

上記のように、従来技術には、電界の方向を区別できない、電界分布測定の空間分解能が低い、特定領域の電界分布を測定できない、という問題があった。

本発明は、かかる問題点を解決するために創出されたものである。すなわち、本発明の目的は、電界の方向を区別でき、空間分解能が高く、特定領域の電界を測定できる半導体デバイスの電界分布測定方法と装置を提供することである。

#### 発明の開示

本発明の半導体デバイスの電界分布測定方法は、二次元回路が形成された半導体デバイスに所定の電圧を印加して該半導体デバイスを印加状態に保持する保持工程と、該印加状態に保持された該半導体デバイスの該二次元回路上に所定の波長を有するレーザ光を二次元的に走査するように照射する照射工程と、該レーザ光照射位置から放射される電磁波を検出して該電磁波を時間的に変化する電場信号に変換する検出・変換工程と、該時間的に変化する電場信号の位相を判定する判定工程と、を有している。

レーザ光照射位置から放射される電磁波の電場信号の時間変化波形の位相を判定し、判定された位相が該レーザ光照射位置の電界方向に依存することを用いて、該照射位置の電界の方向を判定するので、電界の方向を区別することができる。

上記方法においては、さらに、前記時間的に変化する電場信号の所定時刻での

電場の振幅をサンプリングするサンプリング工程を有するようにすることができる。

サンプリング工程でサンプリングされた電場の振幅が前記レーザ光照射位置の電界の強度に比例することを用いて電界強度分布をも測定することが可能になる。

また、前記サンプリング工程の所定時刻を複数の時刻にし、該サンプリング工程は該複数の時刻での電場の振幅をサンプリングし、異なる時刻の電界強度分布を測定するようにしてもよい。

同一のレーザ光照射位置の時系列電界分布が得られ、半導体デバイスの基板のドーピング箇所の特定などが可能になる。さらに、放射される電磁波が基板の深さ方向で屈折率が変化する界面によって反射され、その反射波が遅れて半導体デバイス表面から放射されるので、異なる時刻でその反射波の電場の振幅をサンプリングすることで、深さ方向の情報が得られる。

前記保持工程の所定の電圧は所定の周波数で変調された電圧を有し、前記検出・変換工程は該変調周波数で変調された電磁波を時間的に変化する電場信号に変換するようにすることができる。

変調された電圧が印加された回路部分のみの電界分布を測定することが可能になる。

前記レーザ光は所定の周波数で変調されたものであるとしてもよい。

レーザ光を照射した部分の電界分布を測定することができる。

前記照射工程は、前記二次元回路上に前記レーザ光を近接場光学系を介して二次元的に走査するように照射することができる。

電界分布測定の空間分解能を回折限界より高くすることが可能になる。

前記照射工程の前記所定の波長は、前記半導体デバイスの材料に前記レーザ光が吸収されるように選択されるようにすることができる。

照射されるレーザ光によって多数の光キャリアが発生し、放射される電磁波の強度が増し、検出・変換工程のS/Nが向上する。

また、前記課題を解決するための本発明の半導体デバイスの電界分布測定装置は、二次元回路が形成された半導体デバイスに所定の電圧を印加して該半導体デバイスを印加状態に保持する電圧印加装置と、所定の波長を有するレーザ光を発

生するレーザ装置と、該印加状態に保持された該半導体デバイスの該二次元回路上に該レーザ光を二次元的に走査するように照射する照射装置と、該レーザ光照射位置から放射される電磁波を検出して該電磁波を時間的に変化する電場信号に変換する電磁波検出・変換装置と、該電磁波検出・変換装置から出力される該時間的に変化する電場信号を入力して該電場信号の位相を判定する位相判定手段と、を有し、該位相判定手段で判定された位相が該レーザ光照射位置の電界方向に依存することを用いて電界方向分布を測定することを特徴とする。

上記装置においては、さらに、前記電磁波検出・変換装置から出力される前記時間的に変化する電場信号を入力して該電場信号の所定時刻での電場の振幅をサンプリングする電場振幅サンプリング手段を有し、該サンプリング手段でサンプリングされた電場の振幅が該レーザ光照射位置の電界の強度に比例することを用いて電界強度分布をも測定するようにすることができる。

また、本発明の半導体デバイスの電界分布測定装置においては、前記電場振幅サンプリング手段は複数の所定時刻での電場の振幅をサンプリングし、異なる時刻の電界強度分布を測定することができる。

さらに、前記電圧印加装置は前記半導体デバイスに所定の周波数で変調された電圧を印加し、前記電磁波検出・変換装置は該変調周波数で変調された電磁波のみを時間的に変化する電場信号に変換し、変調された電圧が印加された回路部分の電界分布を測定することができる。

前記レーザ光を所定の周波数で変調する変調手段を有するようにすることができる。

本発明の半導体デバイスの電界分布測定装置においては、前記照射装置は近接場光学系を有し、前記二次元回路上に前記レーザ光を該近接場光学系を介して二次元的に走査するように照射することができる。

また、前記レーザ装置は、前記半導体デバイスの材料に吸収される波長のレーザ光を発生することができる。

#### 図面の簡単な説明

図1は超短光パルスを半導体スイッチに照射し、テラヘルツ電磁波を空中に

放射させる背景技術の原理図である。

図 2 は本発明の半導体デバイスの電界分布測定装置の概略図であると共に、実施例 1 の半導体デバイスの電界分布測定装置 A の概略図でもある。

図 3 は半導体デバイスから放射される電磁波の電場信号とサンプリング時刻を説明する図である。

図 4 は実施例 1 の電界分布測定結果を示すカラーイメージである。

図 5 は実施例 2 の半導体デバイスの電界分布測定装置 B の概略図である。

図 6 は実施例 2 の半導体デバイスの電界分布測定装置 B の近接場光学プローブ 5 4 の先端部の拡大図である。

図 7 は実施例 2 の電界分布測定結果を示すカラーイメージである。

図 8 は実施例 3 の電界分布測定結果を示すカラーイメージである。

図 9 は実施例 4 の電界分布測定結果を示すカラーイメージである。

図 10 は実施例 5 の電界分布測定結果を示すカラーイメージである。

#### 発明をの実施するための最良の形態

以下に本発明の好ましい実施の形態を図面を参照して説明する。なお、各図において、共通する部分には同一の符号を付し重複した説明を省略する。

図 2 は、本発明の一実施形態を示す半導体デバイスの電界分布測定装置 A の概略図である。この図に示すように、電界分布測定装置 A は、電圧印加装置 2、レーザ装置 3、照射装置 5、電磁波検出・変換装置 6、及び位相判定手段 7 1 を備える。

電圧印加装置 2 は、電源回路であり、測定対象である半導体デバイス 1 の 2 次元回路に所定の電圧を印加し、印加状態に保持する。所定の電圧を印加し、印加状態に保持するとは、半導体デバイス 1 に適合する電圧（例えば、DC $\pm$ 1.6 V）を電源ラインに印加し、アースラインを接地した状態に保持することを言う。したがって、この印加状態において、電源ラインに接続された半導体デバイス 1 の回路部分は所定の電圧となり、アースラインに接続された回路部分はアース（例えば 0 V）となり、その間に電位差が発生する。電圧印加装置 2 は、±の直流電圧と変調電圧を可変して供給できるのが望ましい。測定対象の半導体デバイス 1 が変わっても適合する電圧を印加することができる。また、所定の周波数で変調された

電圧を半導体デバイス 1 の例えば信号ラインに印加することもできる。

レーザ装置 3 は、レーザ光 4 を発生する。レーザ装置 3 としては、パルス幅がフェムト秒の超短光パルスのレーザ光 4 を発生する例えば、モードロックレーザ、又はファイバーレーザ等を用いることができる。レーザ装置 3 としては、発生したレーザ光 4 を半導体デバイス 1 に照射したとき電磁波が発生されるものであれば、レーザ光 4 が特に超短光パルスである必要がなく、例えば、発振波長が接近した c w レーザ光を発生する 2 台の c w 発振半導体レーザでもよい。レーザ光 4 の波長は、半導体デバイス 1 の基板材料に吸収される波長が望ましく、半導体デバイスの基板材料に応じて選ぶようにするとよい。すなわち、基板材料が Si の場合は 1 1 1 7 n m 以下の波長のレーザ光を発生するレーザ装置、GaAs の場合は 8 8 5 n m 以下の波長のレーザ光を発生するレーザ装置、Ge の場合は 1 8 7 9 n m 以下の波長のレーザ光を発生するレーザ装置を、それぞれ用いることが望ましい。半導体デバイスの基板材料に吸収される波長のレーザ光を発生させるレーザ装置としては、Yb や Er イオンをドープしたファイバを増幅媒体とするファイバレーザが適している。さらに、レーザ光 4 の波長は、半導体デバイス 1 のパッケージを透過し且つ半導体デバイスの基板材料で吸収される波長がよい。パッケージを外す必要がなくなる。また、レーザ光 4 のモードはシングルモードが好ましい。シングルモードは、ビーム品質が高く、回折限界まで集光して半導体デバイス 1 に照射することができる。なお、パッケージをレーザ光 4 を透過する物質で構成すれば、パッケージを透過する波長を選択する必要がなくなる。

照射装置 5 は、半導体デバイス 1 の二次元回路上にレーザ光 4 を二次元的に走査するように照射する。図 2 の電界分布測定装置 A では、照射装置 5 は、レーザ光 4 を二つのビームに分割するビームスプリッタ 5 1、分割された一方のビーム（励起ビーム 4 1）を半導体デバイス 1 に集光照射する集光レンズ 5 2、及び半導体デバイス 1 を載置して x 方向（紙面に直交する方向）と y 方向（紙面方向）に移動させる x - y 移動ステージ 5 3 からなり、x - y 移動ステージ 5 3 の移動により、ステージ 5 3 の上に載置された半導体デバイス 1 が x - y 移動し、集光レンズ 5 2 による励起ビーム 4 1 の集光照射スポットが半導体デバイス 1 の二次元回路上を走査する。ビームスプリッタ 5 1 の後にミラーを挿入して、ビームス

プリッタ 5 1 で分割された励起ビーム 4 1 が半導体デバイス 1 の裏面から集光照射されるようにすることもできる。こうすることで、回路を構成する金属膜等で照射される励起ビーム 4 1 が反射されないので、放射される電磁波を効率よく検出できる。また、照射装置 5 は、集光レンズ 5 2 の後に近接場光学プローブを挿入してプローブ先端から染み出すエバネッセント波を半導体デバイス 1 に照射するようにするとよい。照射スポットをプローブ先端径近くまで小さくでき、電界分布測定 of 空間分解能を光の回折限界より高くすることができる。なお、照射装置 5 は、集光レンズ 5 2 の後に例えばガルバノミラーを挿入してビームスプリッタ 5 1 で分割された励起ビーム 4 1 を二次元に走査し、ステージ上に静止している半導体デバイス 1 に照射するようにしてもよい。

電磁波検出・変換装置 6 は、照射されるレーザ光が通る穴のあいた軸外し放物面鏡 6 1、穴なしの軸外し放物面鏡 6 1'、電磁波検出器 6 2、及びロックインアンプ 6 3 とからなる。軸外し放物面鏡 6 1、6 1' はコンデンサ光学系を構成し、半導体デバイス 1 から放射される電磁波を効率よく検出器 6 2 に入射させる。電磁波検出器 6 2 には、光伝導アンテナ、或いは ZnTe などの電気光学結晶などを用いることができる。電磁波検出器 6 2 には、ビームスプリッタ 5 1 で分割された他方のビーム（トリガビーム 4 2）がコーナキューブ 9 とミラー 10 で構成される遅延線で遅延されて入射し、検出器 6 2 がそのトリガビームでゲートされる。電磁波検出器 6 2 に電磁波だけを透過する光学フィルタを装着するとよい。半導体デバイス 1 の金属膜などで反射されるレーザ光などの背景光をカットして S/N を上げることができる。放射される電磁波が変調されている時、ロックインアンプ 6 3 をその変調周波数に同期させることで S/N を上げることができると共に、上記のように、電圧印加装置 2 で信号ラインに変調電圧を印加する場合は信号ラインから放射される電磁波だけを変換することができる。

位相判定手段 7 1 は、検出・変換装置 6 から出力される電磁波の電場の時間変化信号を入力して、その信号波形の位相を判定する。図 3 は、電磁波の電場振幅の時間変化を模式的に示したもので、実線の場合を正位相、点線の場合を逆位相と判定する。電界分布測定装置 A ではパソコン 7 がその機能を行うので、パソコン 7 が位相判定手段 7 1 を内蔵していることになる。パソコン 7 は、レーザ装置 3

とX-Y移動ステージ53を制御し、電磁波検出・変換装置6から入力される電磁波の電場の時間変化信号の位相を正位相と逆位相に判定してその判定結果をCRT73上の半導体デバイス1に対応する位置に色により表示する。

パソコン7に電場振幅サンプリング手段の機能をさらにもたせるようにしてもよい。電場振幅サンプリング手段は、電磁波検出・変換装置6から入力される電磁波の電場の時間変化信号の所定時刻（例えば、図3の $\tau_0$ 、 $\tau_1$ ）での電場の振幅をサンプリングする。パソコン7は、電磁波検出・変換装置6から入力される電磁波の電場の時間変化信号の所定時刻での電場の振幅をサンプリングし、そのサンプリング結果をCRT73上の半導体デバイス1に対応する位置に色の濃淡により表示する。

上述した電界分布測定装置Aを用いた本発明の電界分布測定方法によれば、半導体デバイス1を所定の電圧印加状態に保持する保持工程と、半導体デバイス1の二次元回路上にレーザ光4を二次元的に走査するように照射する照射工程と、その照射位置から放射される電磁波を検出して時間的に変化する電場信号に変換する検出・変換工程と、電場信号の位相を判定する位相判定工程と、を有し、電場の位相から照射位置の電界の方向を測定する。

上述した電界分布測定装置Aの変形態様を用いた本発明の電界分布測定方法によれば、さらに、所定の時刻での電場信号の振幅をサンプリングするサンプリング工程を有し、電場の振幅から照射位置の電界強度をも測定する。

また、電圧印加装置2で半導体デバイス1のたとえば、信号ラインに所定の周波数で変調された電圧を印加し、電磁波検出・変換装置6でその変調周波数の電磁波のみを検出することで、たとえば信号ラインの電界分布のみを測定することができる。

さらに、照射装置5に近接場光学プローブを用いることで、電界測定の空間分解能をレーザ光4の回折限界以上に高めることができる。

パソコン7に位相判定工程と、複数の時刻での電場の振幅をサンプリングする電場振幅サンプリング工程を持たせるようにすることで、半導体デバイス1の同一位置の時系列の電界方向、電界強度を測定することができる。

（実施例1）



上述した図 2 は、本発明の実施例 1 の電界分布測定装置 A の構成例である。すなわち、電圧印加状態にある半導体デバイス 1 にレーザ光 4 を照射することにより照射位置から電磁波を発生させ、放射される電磁波を電磁波検出・変換装置 6 で検出し、電磁波の電場の時間変化信号の位相を測定するものである。

半導体デバイス 1 は、図 4 の (a) に示すテストパターンを形成したテストサンプルである。このサンプルは InP 基板上に幅  $30\ \mu\text{m}$  の金線を  $25\ \mu\text{m}$  の間隔を空けて形成したものである。電圧印加装置 2 から金線に交互に  $+2\text{V}$ 、 $-2\text{V}$  の直流電圧が印加されるようになっている。

レーザ装置 3 には、モード同期チタンサファイアレーザを用いた。このレーザ装置 3 からは、波長が  $790\text{nm}$ 、パルス幅が  $100\text{fs}$ 、パルス繰返しが  $82\text{MHz}$ 、平均パワーが  $36\text{mW}$  のレーザ光 4 が放射される。

照射装置 5 の集光レンズ 52 の焦点距離は  $100\text{mm}$  で、テストサンプル 1 の上での励起ビーム 41 の照射スポット径は  $25\ \mu\text{m}$  である。

レーザ光 4 は、図示しないチョッパーにより約  $1\text{kHz}$  の周波数に変調されてテストサンプル 1 に照射されるようにしている。

電磁波検出・変換装置 6 の電磁波検出器 62 として、光伝導アンテナを用いた。

図 4 の (b) が、テストサンプル 1 を電圧印加状態に保持して、励起ビーム 41 を照射して、位相を測定した結果で、正位相 (図 3 の実線に対応) の電磁波が放射される位置を赤色に、逆位相 (図 3 の点線に対応) の電磁波が放射される位置を青色に、電磁波が放射されない位置を黒色に、カラー表示したものである。図 4 の (a) と (b) から、赤色の領域には左向きの電界が、青色の領域には右向きの電界がかかっており、本実施例 1 の電界分布測定装置 A で電界の方向を測定できることがわかる。

図 4 の (c) は、比較のためにテストサンプル 1 に電圧を印加しないで、位相を測定した結果で、電界がないため電磁波が放射されず、全面が黒色一色を示した。

#### (実施例 2)

図 5 は、本発明の実施例 2 の電界分布測定装置 B の構成例である。照射装置 5 が近接場光学プローブ 54 を有する点と、パソコン 7 が電磁波の電場の時間変化

信号の所定時刻の電場振幅をサンプリングするサンプリング手段 72 を有する点、以外は実施例 1 と同じである。

図 6 は、図 5 の丸で囲んだプローブ 54 の先端部の拡大図である。プローブ 54 は、励起ビーム 41 が透過する透明媒体で作られており、入射端と出射端以外は金属皮膜 542 で覆われている。出射端の金属皮膜 542 で覆われない開口部の径は  $0.2\ \mu\text{m}$  で、この開口部から励起ビーム 41 のエバネッセント波 41' が染み出し、半導体デバイス 1 に照射される。

実施例 2 の半導体デバイス 1 も実施例 1 のようなテストサンプルで、図 7 に示すような寸法をしている。すなわち、金線の幅が  $6\ \mu\text{m}$  で、金線と金線の間隔が  $1\ \mu\text{m}$  である。

図 7 の (b) が、テストサンプル 1 を電圧印加状態に保持して、励起ビーム 41 のエバネッセント波 41' を照射して、位相及び電場の振幅を測定した結果で、位相を赤色と青色で区別すると共に、振幅の大きさを色の濃度で表示したものである。これから、金線間の間隔が  $1\ \mu\text{m}$  でも電界方向と電界強度が測定されていることがわかる。すなわち、近接場光学プローブ 54 を介して励起ビーム 41 を照射することで、 $1\ \mu\text{m}$  の空間分解能が達成された。

#### (実施例 3)

図 8 は、本発明の実施例 1 の電界分布測定装置 A の半導体デバイス 1 としてオペアンプ (LM301AH: National Semiconductor) を用い、電界分布を測定した結果である。図 8 (a) は、レーザ装置 3 を  $2\ \text{KHz}$  の周波数で変調することで変調したレーザ光 4 を発生させ、電圧印加装置 2 でオペアンプ 1 の電源ラインに  $\pm 16\ \text{V}$  (直流)、信号ラインに  $-10\ \text{V}$  (直流) をそれぞれ供給した状態で電界分布を測定した結果であり、オペアンプ 1 の全体の電界分布を知ることができる。図 8 (b) は、レーザ装置 3 に変調をかける代わりに、電圧印加装置 2 でオペアンプ 1 の信号ラインに  $2\ \text{KHz}$  で変調された  $\pm 10\ \text{V}$  の変調電圧を供給した状態で電界分布を測定した結果であり、信号ラインの電界分布のみを知ることができる。

#### (実施例 4)

図 9 は、実施例 3 で用いたオペアンプ 1 の電界分布を実施例 2 の電界分布測定装置 B を用いて高分解能で測定した結果である。すなわち、上段左側の図が、レー

ザ装置 3 を 2 K H z の周波数で変調することで変調したレーザ光 4 を発生させ、電圧印加装置 2 でオペアンプ 1 の電源ラインに  $\pm 16 \text{ V}$ （直流）、信号ラインに  $-10 \text{ V}$ （直流）をそれぞれ供給した状態で電界分布を測定した結果である。一方図 9 の上段右側の図は、右下に示すように、回路の一部を故意に断線させた後に電界分布を測定した結果で、断線によって電界分布が大きく変化していることがわかり、本発明を半導体デバイスの断線等の検査に応用できることが示された。

#### （実施例 5）

図 10 は、実施例 3 のオペアンプ 1 の電界分布を実施例 2 の電界分布測定装置 B を用いてオペアンプ 1 の特定領域の電界分布の時間変化を測定した結果である。図 10 の左の図は、電場の振幅が最初にピーク値になる時刻（ $\tau = 0 \text{ p s}$ ）での電界分布であり、真ん中の図は  $\tau = 5 \text{ p s}$ 、右の図は  $\tau = 9.5 \text{ p s}$  での電界分布である。電圧印加装置 2 によるオペアンプ 1 の電圧印加保持状態が一定であるのに、電界分布が時系列で変化するのは、励起ビーム 41 の照射により発生する光キャリア以外の影響、例えば、ドーピングレベルの不均一性の影響を受けていると考えられる。したがって、異なる時刻の電場の振幅をサンプリングすることで、電界分布の時間変化を測定できドーピングレベルの不均一性なども評価できることが示された。

#### 産業上の利用の可能性

本発明の半導体デバイスの電界分布測定方法及び装置は、半導体デバイスの開発段階での電界分布測定に利用できるだけでなく、半導体デバイス製品生産段階での断線、欠陥、動作不良などの検査にも利用することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 二次元回路が形成された半導体デバイスに所定の電圧を印加して該半導体デバイスを印加状態に保持する保持工程と、

該印加状態に保持された該半導体デバイスの該二次元回路上に所定の波長を有するレーザ光を二次元的に走査するように照射する照射工程と、

前記半導体デバイス上の前記レーザ光が照射されるレーザ光照射位置から放射される電磁波を検出して該電磁波を時間的に変化する電場信号に変換する検出・変換工程と、

該時間的に変化する電場信号の位相を判定する判定工程と、  
を有し、前記判定工程で判定された位相が該レーザ光照射位置の電界方向に依存することを用いて前記半導体デバイスの電界方向分布を測定することを特徴とする、該半導体デバイスの電界分布測定方法。

2. さらに、前記時間的に変化する電場信号の所定時刻での電場の振幅をサンプリングするサンプリング工程を有し、該サンプリング工程でサンプリングされた電場の振幅が前記レーザ光照射位置の電界の強度に比例することを用いて電界強度分布をも測定することを特徴とする、請求項1に記載の半導体デバイスの電界分布測定方法。

3. サンプリング工程の所定時刻は複数の時刻であり、該サンプリング工程は該複数の時刻での電場の振幅をサンプリングし、異なる時刻の電界強度分布を測定することを特徴とする、請求項2に記載の半導体デバイスの電界分布測定方法。

4. 前記レーザ光は所定の周波数で変調されたものであることを特徴とする、請求項1ないし3のいずれかに記載の半導体デバイスの電界分布測定方法。

5. 前記保持工程の所定の電圧は所定の周波数で変調された電圧を有し、前記検出・変換工程は該変調周波数で変調された電磁波を時間的に変化する電場信号に変換し、変調された電圧が印加された回路部分の電界分布を測定することを特徴とする、請求項1ないし4のいずれかに記載の半導体デバイスの電界分布測定方法。

6. 前記照射工程は、前記二次元回路上に前記レーザ光を近接場光学系を介し

て二次元的に走査するように照射することを特徴とする、請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の半導体デバイスの電界分布測定方法。

7. 前記照射工程の前記所定の波長は、前記半導体デバイスの材料に前記レーザー光が吸収されるように選択されることを特徴とする、請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の半導体デバイスの電界分布測定方法。

8. 二次元回路が形成された半導体デバイスに所定の電圧を印加して該半導体デバイスを印加状態に保持する電圧印加装置と、

所定の波長を有するレーザー光を発生するレーザー装置と、

該印加状態に保持された該半導体デバイスの該二次元回路上に該レーザー光を二次元的に走査するように照射する照射装置と、

前記半導体デバイス上の前記レーザー光が照射されるレーザー光照射位置から放射される電磁波を検出して該電磁波を時間的に変化する電場信号に変換する電磁波検出・変換装置と、

該電磁波検出・変換装置から出力される該時間的に変化する電場信号を入力して該電場信号の位相を判定する位相判定手段と、

を有し、該位相判定手段で判定された位相が該レーザー光照射位置の電界方向に依存することを用いて前記半導体デバイスの電界方向分布を測定することを特徴とする、半導体デバイスの電界分布測定装置。

9. さらに、前記電磁波検出・変換装置から出力される前記時間的に変化する電場信号を入力して該電場信号の所定時刻での電場の振幅をサンプリングする電場振幅サンプリング手段を有し、該サンプリング手段でサンプリングされた電場の振幅が該レーザー光照射位置の電界の強度に比例することを用いて前記半導体デバイスの電界強度分布をも測定することを特徴とする、請求項 8 に記載の半導体デバイスの電界分布測定装置。

10. 前記電場振幅サンプリング手段は複数の所定時刻での電場の振幅をサンプリングし、異なる時刻の電界強度分布を測定することを特徴とする、請求項 9 に記載の半導体デバイスの電界分布測定装置。

11. 前記レーザー光を所定の周波数で変調する変調手段を有することを特徴とする、請求項 8 ないし 10 のいずれかに記載の半導体デバイスの電界分布測定装置。

1 2. 前記電圧印加装置は前記半導体デバイスに所定の周波数で変調された電圧を印加し、前記電磁波検出・変換装置は該変調周波数で変調された電磁波のみを時間的に変化する電場信号に変換し、変調された電圧が印加された回路部分の電界分布を測定することを特徴とする、請求項 8 ないし 1 1 のいずれかに記載の半導体デバイスの電界分布測定装置。

1 3. 前記照射装置は近接場光学系を有し、前記二次元回路上に前記レーザ光を該近接場光学系を介して二次元的に走査するように照射することを特徴とする、請求項 8 ないし 1 2 のいずれかに記載の半導体デバイスの電界分布測定装置。

1 4. 前記レーザ装置は、前記半導体デバイスの材料に吸収される波長のレーザ光を発生することを特徴とする、請求項 8 ないし 1 3 のいずれかに記載の半導体デバイスの電界分布測定装置。

図1

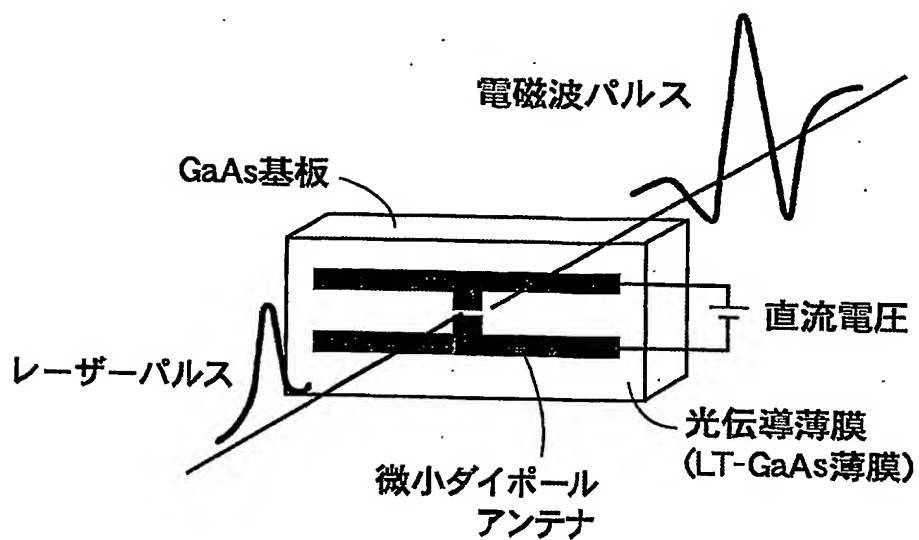


図2

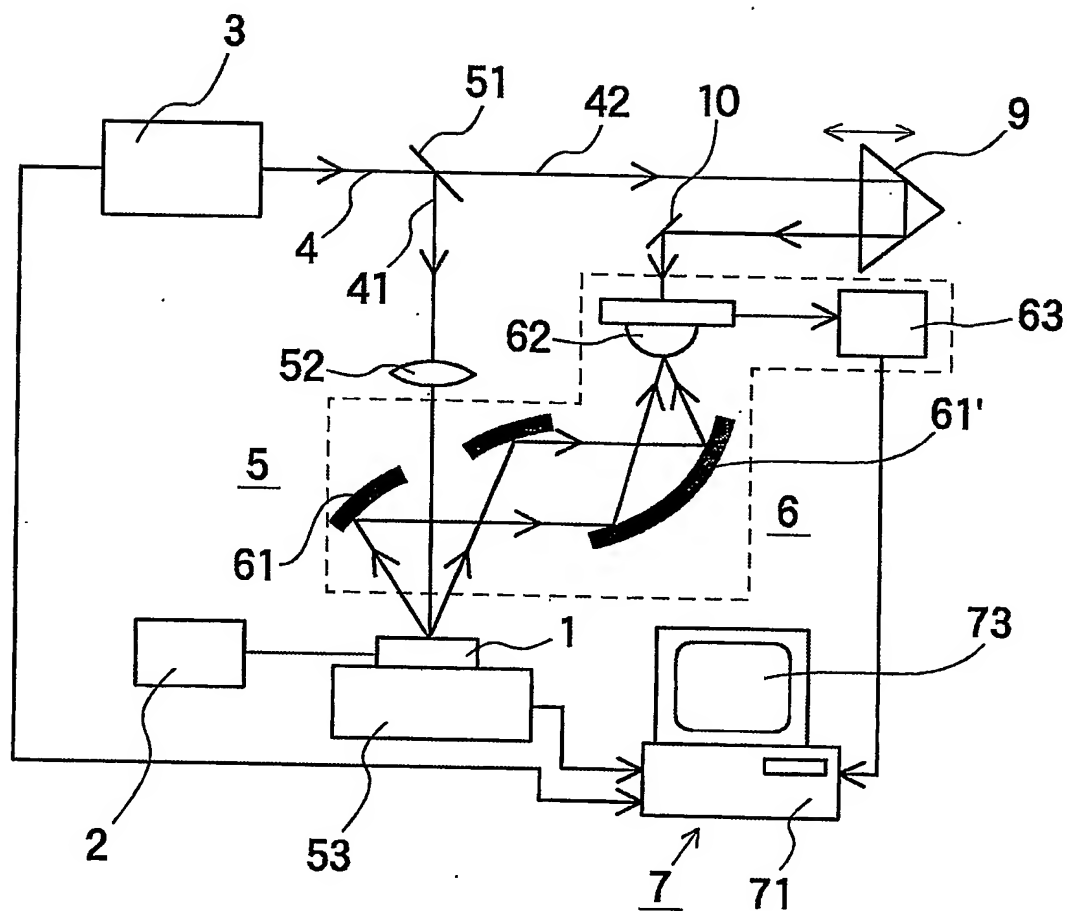


図3

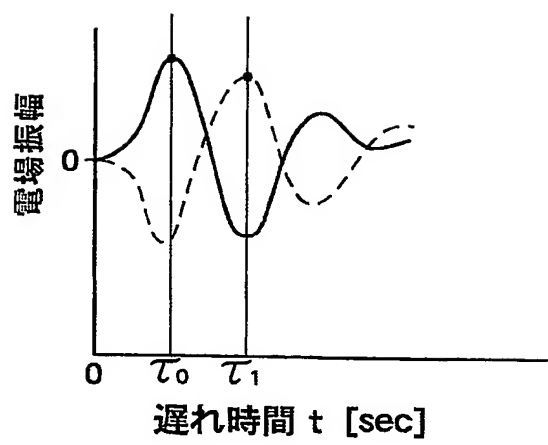




図4

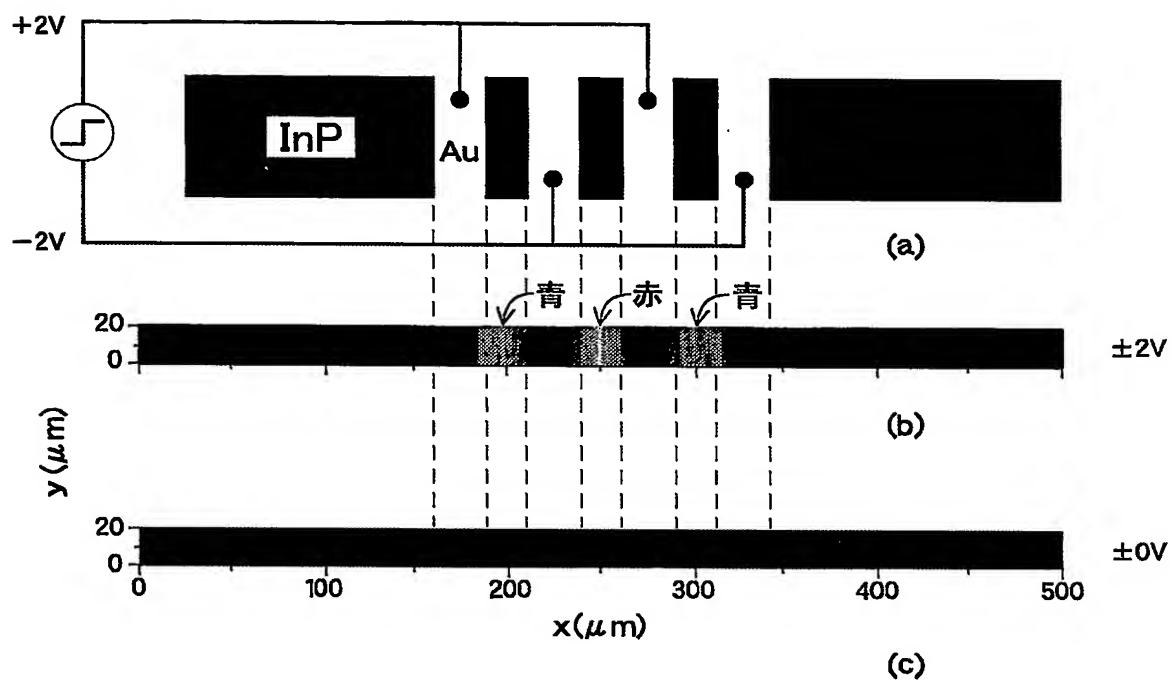
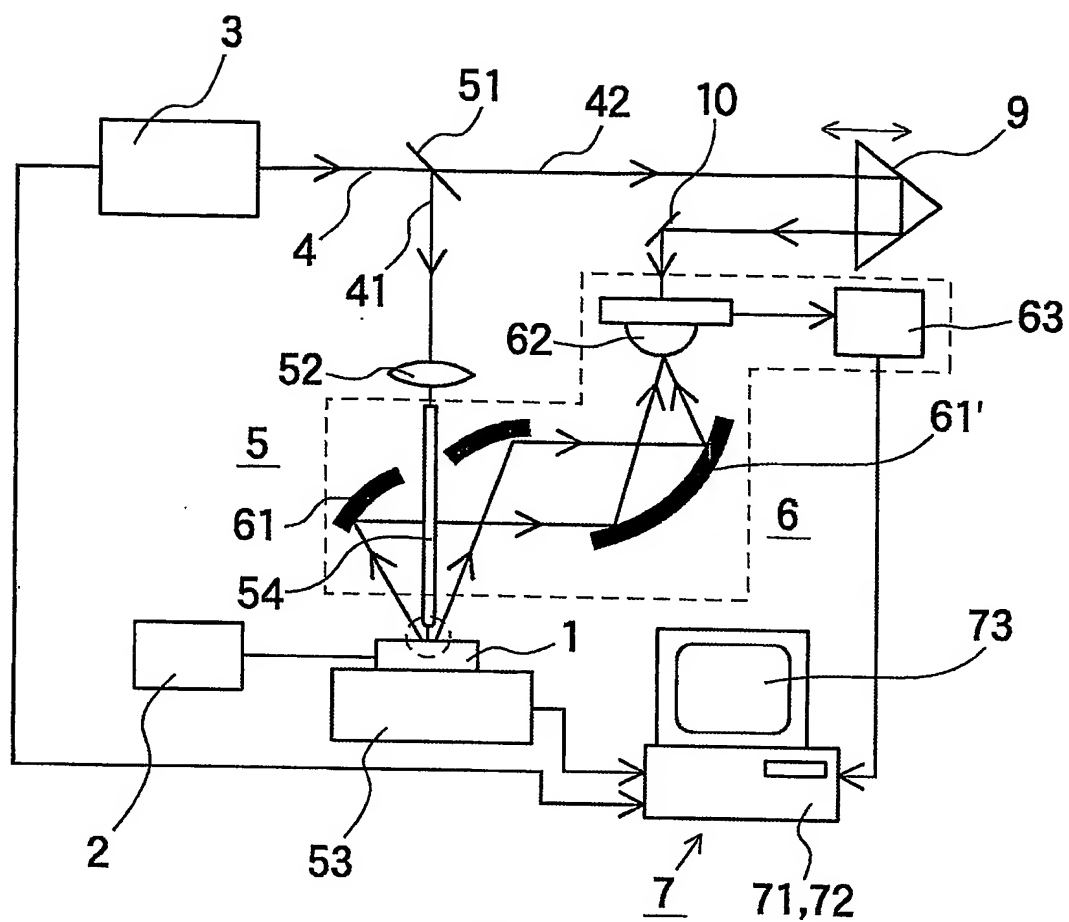


图5



**图 6**

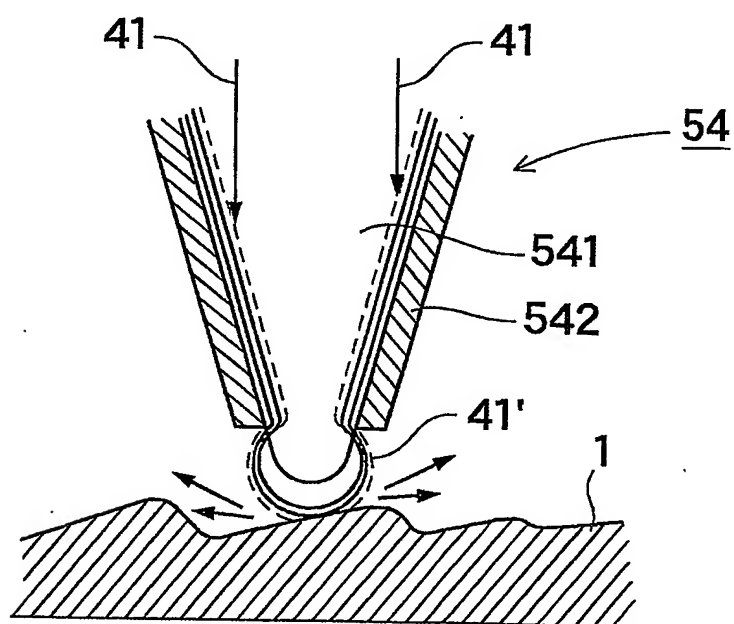


図7

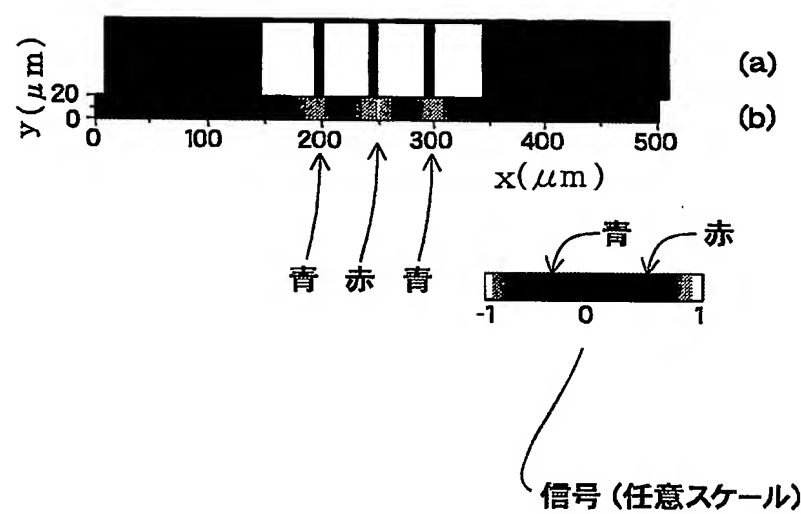


図8

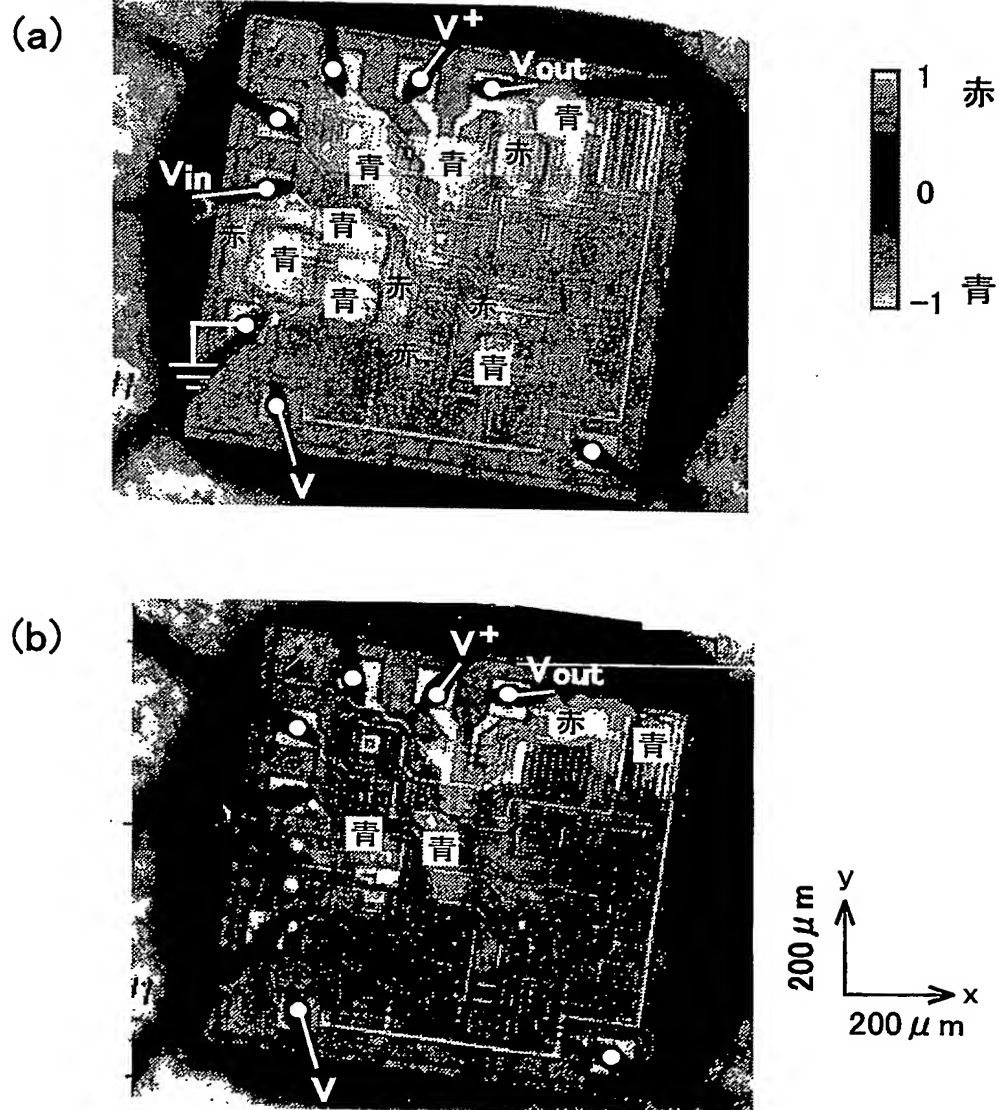


図9

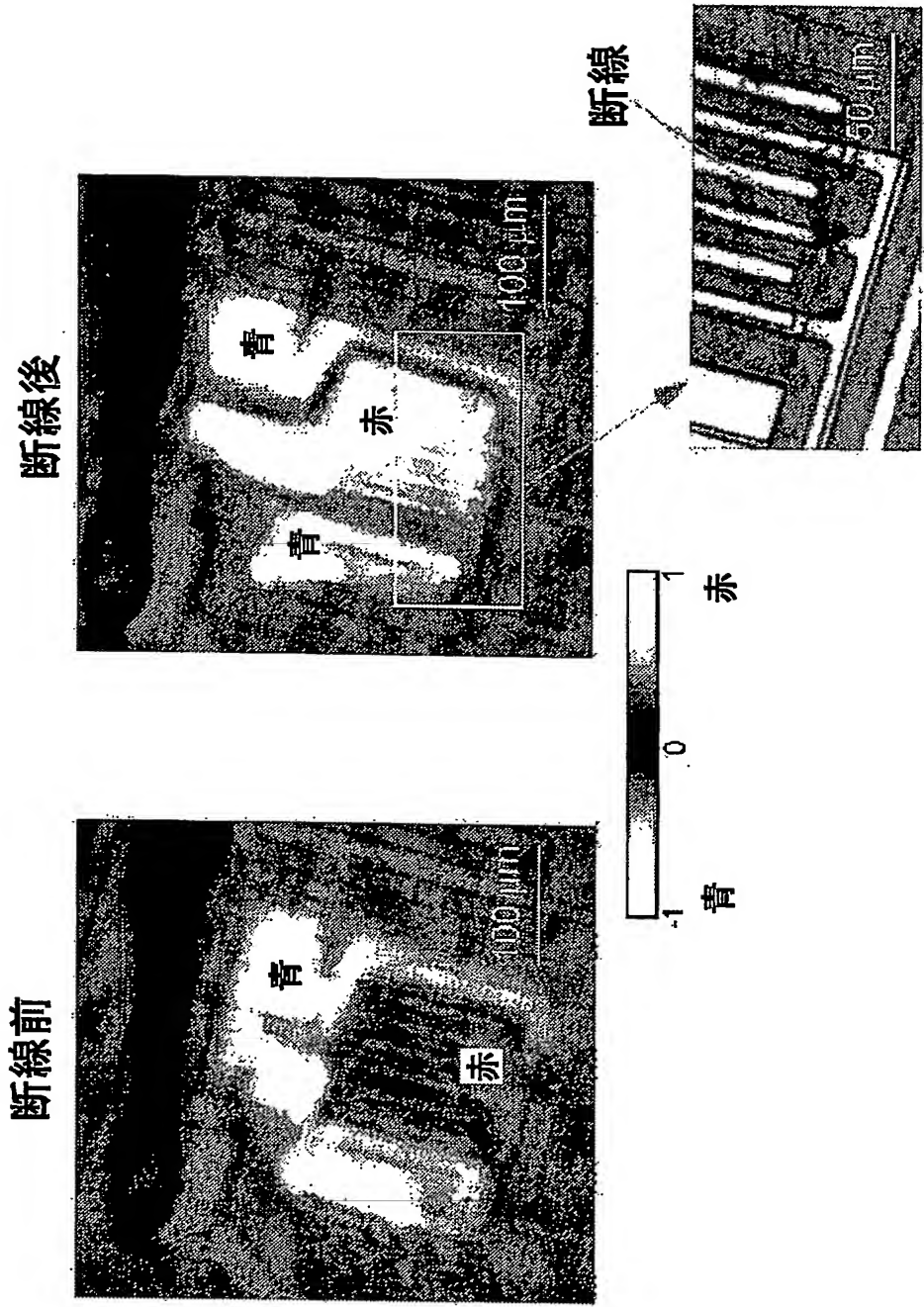
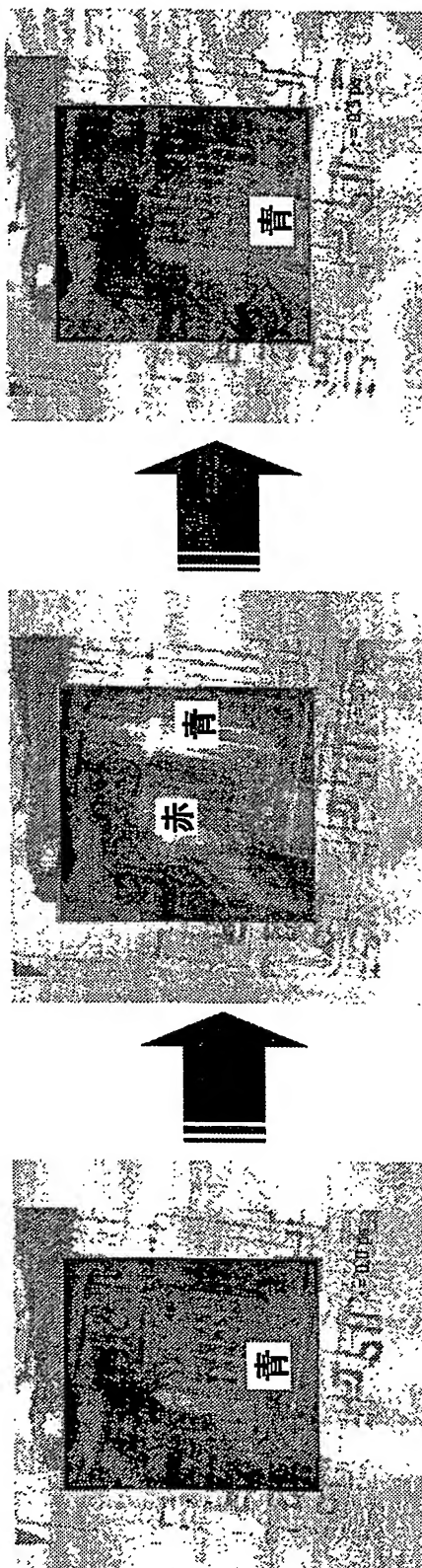


図10



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/012613

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01R31/308

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01R31/28-3193

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Kiyomi SAKAI, "Terahertz Jikan Ryoiki Bunkoho", Bunko Kenkyu, 2001, Vol.50, No.6, pages 261 to 273	1-14
A	Toshihiko KIWA, Seikichi TOUCHI, "Koho Sanrangata Terahertz Denjiha Imaging ni yoru Handotai IC Dansen Hyoka", Dai 50 Kai Oyo Butsurigaku Kankei Rengo Koenkai Koen Yokoshu, separate Vol.3, 27 March, 2003 (27.03.03), page 1183	1-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
25 October, 2004 (25.10.04)

Date of mailing of the international search report  
09 November, 2004 (09.11.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/012613

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

[illegible]



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01R 31/308

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01R 31/28-3193

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	阪井清美, テラヘルツ時間領域分光法, 分光研究, 2001, 第50巻, 第6号, pp. 261-273	1-14
A	紀和利彦, 斗内政吉, 後方散乱型テラヘルツ電磁波イメージング による半導体 IC 断線評価, 第50回応用物理学関係連合講演会講演 予稿集第3分冊, 2003.03.27, p. 1183	1-14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.10.2004

国際調査報告の発送日

09.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

堀 圭 史

2S

3005

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-514549 A (レンセレー ポリテクニク インスティテュート) 2000.10.31, 全文, 全図 & WO 97/045747 A, 全文, 全図	1-14

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**